

2006 中国金属学会 青年学术年会会刊

中国金属学会

2006 年 9 月 无锡

前 言

青年是科技自主创新的生力军，为鼓励自主创新，促进冶金界广大青年科技人才和管理工作者快速成长，激励广大青年面向未来，肩负起历史重任，我会主办了“2006 中国金属学会青年学术年会”。希望冶金战线的青年科技工作者通过学术年会展示风采，交流最新科技成果，并针对当今行业的热点问题研讨。

本次学术年会共收到会议征文 280 余篇，经专家评审，录用 203 篇，其中专家推荐 39 篇在会议上进行宣讲交流。由于时间紧张，在会刊中我们仅收入了特邀报告和会议宣讲报告，会后将出版正式会议论文集。

中国金属学会

2006 年 9 月

2006.10.15

目 录

特邀报告

对自主创新的一点认识.....	1
关于新一代钢铁制造流程的命题.....	7
中国钢铁工业展望.....	13

论文交流

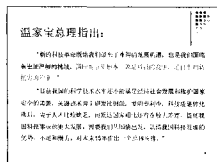
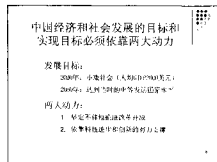
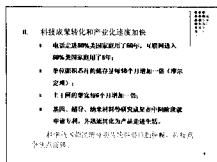
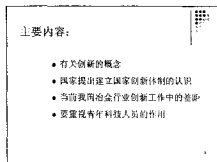
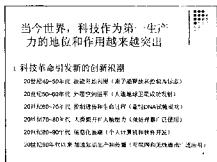
提高武钢焦炭质量的途径.....	24
低温快速还原炼铁新技术的理论基础及特点.....	28
✓煤气全干法除尘技术在济钢 1750m ³ 高炉上的应用.....	33
宝钢 1 高炉冷却壁更换和炉喉钢砖恢复技术.....	37
四高炉煤比达标生产实践.....	40
不锈钢冶炼过程中吸氮和脱氮的动力学模型及应用.....	46
冶金反应过程中氧定向迁移的理论和应用研究.....	51
技术和管理并重,降低吨钢新水耗.....	55
化学成分对 82B 盘条组织和力学性能的影响.....	58
夹杂物对钢帘线断丝的影响及其控制.....	67
连铸中间包挡渣堰系统的优化研究.....	73
宝钢 2 号板坯连铸机改造中新技术的应用.....	79
连铸保护渣传热和润滑功能的协调控制.....	83
铸坯鼓肚对辊列的影响.....	87
影响高强钢汽车板发展的主要问题及对策措施.....	91
攀钢钢轨轧制新工艺.....	97
中厚板轧制过程有限元模拟.....	102
{100} //ND 面织构对铁素体不锈钢起皱高度的影响.....	107
SS400 超细晶钢力学性能的研究.....	112
本钢 CDCM 冷连轧机压下率优化分配.....	117
高速钢轨矫直残余应力的研究现状.....	122
波纹轨腰钢轨万能轧制有限元研究.....	128

薄规格 SPHC 板卷铁素体区轧制工艺及性能控制	132
板带轧机轧辊磨损及其预报模型研究	136
基于 UC 轧机板形控制系统的预设方法的研究	140
热轧产品红色氧化铁皮成因及消除方法的研究	148
宝钢二次冷轧 (DCR) 机组极薄产品生产实践	154
GCr15 轴承钢轧件内部应力的有限元分析	158
基于位错密度的热轧含 Nb 钢平均变形抗力模型	163
浅析冷轧辊的失效与维护	168
450mm 热轧带钢生产线的创新改造	171
重轨钢热轧空冷过程应力场的三维有限元模拟	174
高频电流在线加热复合轧制工艺制备不锈钢/碳钢复合带	178
济钢实施清洁生产的实践与启示	183
海水淡化技术方法及经济性比较	187
柳钢工业废水集中处理循环使用技术	190
PLC 及计算机控制技术在日钢 60 吨转炉上的使用及探讨	194
一种基于计算机控制的接触式测厚仪	199
钢铁企业分析检测技术与自动化	201

对自主创新的一点认识

翁宇庆

(中国金属学会)



我国创新中的薄弱状况

● 科技创新能力

在49个主要国家（占世界GDP的90%）中排名第29位。

● 关键技术自给率低

美国关键技术自给率 > 90%

欧洲国家 > 80%

日本 > 80%

我国高技术产品进口额占高技术产品出口额 > 40% 中心60%靠进口。

● 发明专利少

以10万亿美元GDP的英国专利程序，就领先中国17年，人均拥有发明专利数1.5%。

全国第三次科技大会和2005-2020中长期科技发展规划纲要国家科技发展的指导方针

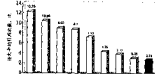
“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”

- 自主创新，就是从增强国家创新能力出发，加强原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新。

重点跨越，就是要有有所为、有所不为，选择具有一定基础和优势，关系国计民生和国家安全的关键领域，集中力量，重点突破，实现跨越式发展。

● 科技论文发表质量（论文引用指数比较）

引用指数偏低。



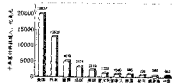
联合国1990-2000年科技统计年鉴数据比较

- 支撑发展，就是从现实的紧迫需求出发，着力突破重大关键技术、共性技术，支撑经济社会可持续发展。

支撑发展是我国科技工作的根本任务，提升传统产业和高新技术产业，突破能源、资源环境领域的瓶颈技术，攻克关键共性技术，推动科技与经济社会发展。

- 引领未来，就是着眼长远，启动和部署基础性研究和技术研究，创造新的市场需求，培育新兴产业，引领未来经济社会发展。

● 科技投入不足



1980-2000年我国与部分国家科技研发投入强度比较

全国第三次科技大会和2005-2020中长期科技发展规划纲要

● 国家科技发展的总体目标

建设创新型国家

国家创新体系重点由5个体系构成：

以企业为主体，以市场为导向，产学研结合的技术创新体系；

科学研究与高等教育有机结合的知识创新体系；

军民融合、军民互动的国防科技创新体系；

技术创新是经济发展的理论研究中提出的概念。

卡尔·马克思:科学是生产力中的一个已经确定的因素

邓小平：科学技术是第一生产力（人力、工具、资本、科学技术）

黄建明 (J. M. Humphreys, 1978年)

“创新是电子产品的灵魂，而这种灵魂是不被分解为1和0的永恒”

新古典商品理论 (1930)

創編美視的教學法的核心，幫助我們許多界同學記住了但不理解是增長的才能。

史學系編修 (一四四) :

知识可以还原到要素层面, 而还原过程又可以经过知识的解构, 所以知识和科学本身是跨学科的与交叉的。

人均GDP 1000~3000美元的发展阶段

国名	人均GDP 1990美元		人均GDP 2000美元		增长率 (%)	2002年人均 GDP(美元)
	1965年	1990年	1965年	2000年		
美国	1943	8.3%	1963	8.2%	19	36220
英国	1884	5.4%	1971	3.3%	17	24957
法国	1959		1979	5.1%	12	24122
日本	1949	3.61%	1987	2.5%	7	21824
德国	1969		1987	5.8%	8	10914
中国	1975	0.3%	1986	6.6-9.3%	9	3990

创新不单纯是一个技术过程,是科研、企

业、政府、金融、法律、文化等相互作用的结

里, 从参与创新的个体讲, 还与思维灵感、个人

科學、預見能力、科研興趣及求學、個人創造力
科學、實驗精神及國家觀念和知識儲備

據羅傑察訪者，加彭城即具北伐雄略，（未完）

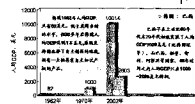
是渐进式的。创新过程是连续性的（渐进和可预测的过程），非主观的，具有某种不可

预测性。只有不断完善创新环境,技术创新与长

期经济增长的长期互动关系才能得到前所未有的

升级。

自主型与依附型发展路线的对比



但是, 如果一些国家将贸易限制强加于发达国家, 跨国公司则必须提高产品, 市场, 甚至垄断了这些国家的银行, 使国家失去宏观调控的主导权。

建立以企业为主体,市场为导向,产学研相结合的技术创新体系

- 企业是经济增长的微观主体,企业的自主创新是国家经济持续稳定增长的持久动力

做 个国家的人均年

产品能达到的期望值是：

时，是国家治理社会的重

要弄个明，呵呵但是重要

— 20 —

却因这一度脆弱性的国家或地区，

如日本、韩国、台湾、以及欧洲

相壁

石軍書畫 出版 黃曉波 主編

与墨西哥、巴拿马、哥斯达黎加、美国、
马耳西里等国，毗连太平洋。

英國化學家哈特利在 1824 年

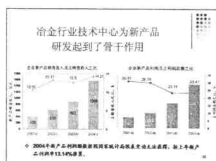
2004年12月31日	2003年12月31日	2002年12月31日	2001年12月31日	2000年12月31日
资产总额	21774	2090	1000	600
负债总额	70	7	21	10

[illegible]

全国制造业研发投入强度 (2004年)			
行业	研发投入强度 (%)	研发投入强度 (%)	研发投入强度 (%)
全部制造业	1.18	0.98	
钢铁制造业	1.79	0.71	
有色金属制造业	0.30	0.21	
机械制造业	3.03	1.42	
化学原料及化学制品制造业	0.67	1.22	
医药制造业	4.08	1.17	
电气机械及器材制造业	0.32	1.28	
交通运输设备制造业	0.36	1.13	
仪器仪表制造业	0.27	0.63	
橡胶、塑料、纤维、皮革、毛皮及其制品业	1.21	0.86	
其他制造业	0.75	0.43	

日、韩钢铁企业科技投入情况			
年份	研发投入强度 (%)	研发投入强度 (%)	研发投入强度 (%)
1995年	2404/100.28	1.84	0.78
1996年	2732/149.45	1.84	0.80
1997年	1300/71.16	1.16	0.87

2004年企业科技投入情况			
行业	研发投入强度 (%)	研发投入强度 (%)	研发投入强度 (%)
全部制造业	1.18	0.98	
钢铁制造业	1.79	0.71	
有色金属制造业	0.30	0.21	
机械制造业	3.03	1.42	
化学原料及化学制品制造业	0.67	1.22	
医药制造业	4.08	1.17	
电气机械及器材制造业	0.32	1.28	
交通运输设备制造业	0.36	1.13	
仪器仪表制造业	0.27	0.63	
橡胶、塑料、纤维、皮革、毛皮及其制品业	1.21	0.86	
其他制造业	0.75	0.43	



企业科技活动经费变化			
年份	科技活动经费 (亿元)	科技活动经费 (亿元)	科技活动经费 (亿元)
1995	131.07	10.86	1.20
1996	132.03	10.86	1.20
1997	171.02	17.10	1.20
1998	176.00	17.60	1.20
1999	177.00	17.70	1.20
2000	178.00	17.80	1.20
2001	179.00	17.90	1.20
2002	180.00	18.00	1.20
2003	181.00	18.10	1.20
2004	182.00	18.20	1.20

- 建立企业为主的技术创新体系，必须实现发展思路的重大转变
- 从跟踪模仿为主向加强自主创新转变
 - 成果转化率高
 - 国内的企业要有自主知识产权的核心企业
 - 成果转化率高 (成果转化率高 < 40% 成果转化率高 > 40% 成果转化率高 > 40%)
 - 成果转化率高 (成果转化率高 < 40% 成果转化率高 > 40% 成果转化率高 > 40%)

全国企业技术获取情况（2004年）

	自主研发 (亿元)	自主研发 (%)	技术引进 (亿元)	技术引进 (%)	消化吸收 (亿元)	消化吸收 (%)
全部企业合计	3671608	34.81	507760	15.97	589142	14.23
国有企业	475961	31.71	65897	8.36	144577	21.88
民营企业	575296	36.81	3428	4.78	158865	14.71
外资企业	25442	36.82	17120	12.98	40948	44.28
中外合资企业	1595864	38.37	140323	8.42	36027	2.17
港澳台资企业	412328	77.67	58168	8.86	47866	12.77
股份制企业	186824	54.81	67598	16.14	28864	11.28
高新技术企业	297319	38.87	21168	12.88	19806	7.34

数据来源：科技部、国家统计局

建立企业为主的技术创新体系，
必须实现发展思路的重大转变

4. 在发展战略上研究开发为主向科技创新与科学普及并重转变。

实施全民科学素质行动计划（2000年-2010年-2020年）

“政府推动，全民参与，提升素质，促进和谐”

重点：

- 未成年人科学素质
- 农民科学素质
- 城镇劳动人口科学素质
- 领导干部和公务员科学素质

建立企业为主的技术创新体系，
必须实现发展思路的重大转变

3. 在创新方式上从注重单项技术的研究开发向重视重大产品和新兴产业为中心的集成创新转变



建立企业为主的技术创新体系，
必须实现发展思路的重大转变

5. 在国际合作上从一般科技交流向全方位、主动利用全球科技资源转变。

- 金属学会 科技交流、科技导向
- 国内交流、国际融合
- 国际培训、国际专家来华讲课
- 少国际专题活动
- 高层交流 中日、中欧向深层次发展

金属学会牵头召集金属科技论坛、中日论坛和中美、2004年7月19日
中日两国金属学会（CSM-EMS）联合召开两国冶金工作者交流会议。

建立企业为主的技术创新体系，
必须实现发展思路的重大转变

3. 在创新体制上从科研院所改革为突破口向整体推进国家创新体系建设转变

重点：建立企业为主体，以产学研为导向，以产学研结合的技术创新体系建设转变。

加大企业技术中心建设力度之人力优势：

• 人力优势：

- 全国工程硕士（工学类）近3万人，300多家国家企业技术中心，其中40多家为骨干，中央企业150家，具有硕士以上学位的研发人员仅占2.7%。

在市场经济条件下，企业作为市场主体，科技工作者
风险承担主体，点技术创新中具备无可替代的作用。

- 政府支持

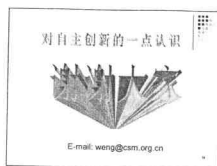
制定若干政策，从财政、金融、税收、科技计划等方面
加以扶持和支持。

- 企业重视

努力使自己成为研究开发投入的主体，技术创新活动的主体
和技术成果转化的主体。

- 产学研结合

全体科技人员，特别是青年科技人员的积极参战从战争中学
习战争”是根本的人力培养道路。



关于新一代钢铁制造流程的命题

殷瑞钰

2006年9月21日 无锡

摘要: 21世纪钢铁工业面临的是一种最新形式的综合性挑战,它包括了经营成本、产品质量与性能、生产效率与合理规模、能耗与过程排放、环境与生态等多目标群优化。这些挑战,主要应从钢厂生产流程整体优化来解决。

新一代钢铁制造流程的研究内涵应包括:

- 高效率、低成本的洁净钢生产平台技术;
- 工序间动态-有序运行的“界面技术”;
- 流程工程集成技术;
- 系统、高效的能源转换技术;
- 废弃物再资源化技术;
- 产业链接技术;
- 流程物理模型与虚拟现实技术。

总之,要通过钢铁制造流程的研究开发,拓宽钢厂生产流程的功能——即钢铁产品的制造功能、能源转换功能和废弃物再资源化功能——增强市场竞争力和可持续发展能力。

关键词 钢铁生产 制造流程 整体优化

Topics of New Generation Steel Manufacturing Process

Yin Ruiyu

Abstract: The steel industry in the 21st century faces a challenge to achieve a comprehensive optimization of operational cost, quality and performance of product, production efficiency and scale, energy consumption and discharge in production process, environment and ecology. The goal will be reached mainly through optimizing production process as a whole.

The research of new generation steel manufacturing process of steel plant should cover:

- platform technology for producing clean steel with high efficiency and low cost
- "interfacing" technology for dynamic and orderly operation between production processes
- technology of integrating production processes in terms of engineering
- technology for energy conversion systematically and efficiently
- technology for recycling wastes
- technology for linking-up of interrelated industries
- technology for molding and virtual reality of production process

In a word, research and development on the above-mentioned technologies should be carried out to broaden the functions of steel manufacturing process - manufacturing function of steel product, function of energy conversion and function of waste recycling, which will enhance enterprises' competitiveness and sustainability.

Key Words: Iron and Steel Production, Manufacturing Process, Optimizing Production

从总体上看,流程制造业实际上是整个制造业的“前工序”。流程制造业的发展与不同国家、不同地区的资源、能源有着密切关系。当然,也与人口数量、人口状况有着密切的关系。中国人口众多,制造业门类齐全,流程制造业是国家工业化、现代化的必备基础。因此,仍然需要关注流程制造业的发展与创新。

一、为什么要重视“流程”研究

1. 时代的挑战:

• 21世纪钢铁企业面临的挑战已不仅是产品的质量、性能问题,也不仅是产量和生产效率问题,而是一种最新形式的综合性挑战;它包括了经营成本、产品质量与性能,生产效率与合理规模、能耗与过程排放、过程灵活控制、环境与生态等多目标群优化的挑战。要认识并解决这类多目标优化的挑战,不能从某一产品的材料学问题来解决,也不能靠某一工艺装置的工艺学问题来解决;主要应从生产流程整体优化来解决。

• 流程制造业进入21世纪后,在信息技术蓬勃发展的影响下,在制造流程的工程设计、

生产运行和经营管理上面临着如何充分利用以计算机为核心的信息技术的挑战,钢铁制造流程的整体信息化应该是在制造流程重组优化基础上的信息化,应该是物质流、能量流、信息流之间互动的综合信息化。钢厂也面临环境-生态问题的挑战以及如何积极主动地实现生态化转型,进而融入循环经济社会中去……。这些命题不能只从某一产品的研究来解决,也不能只从某一装置的工艺学问来解决,而只能从流程整体的过程工程的层面上来解决。

表 1 不同层次的过程及其时-空尺度范围

过 程	时间尺度 (s)	空间尺度 (m)
分子/电子	$<10^{-5}$	$<10^{-10}$
流体力学与传递	$10^{-3} \sim 10^1$	$10^{-9} \sim 10^1$
化学反应及催化剂	$10^{-5} \sim 10^3$	$10^{-11} \sim 10^{-2}$
反应器	$10^{-4} \sim 10^4$	$10^{-3} \sim 10^2$
工厂 (流程)	$>10^4$	$>10^1$

2. 制造流程具有集成性平台作用

对流程制造业而言,为了制造某类、某一产品,必须通过由功能不同的工序串联起来构成的制造流程,并通过流程的协同运行,才能生产出来。从这个角度看,是产品引起了制造流程的构成;然而,流程一经确定,其功能就不再只是为了生产某类、某一产品。因为流程的决定还取决于资源、能源、运输、市场容量、环境以及其它社会条件;同时流程运行的结果,也不只是产品,至少还有副产品和过程排放物等。当然,流程的确定还受到工艺技术,装备性能、效率等因素的强烈影响。

总的看来,产品将在很大程度上决定制造流程,但反过来,制造流程一经确定,就蕴涵着不同层次多种因素的“耦合-集成性”和发挥多种功能的“平台性”。

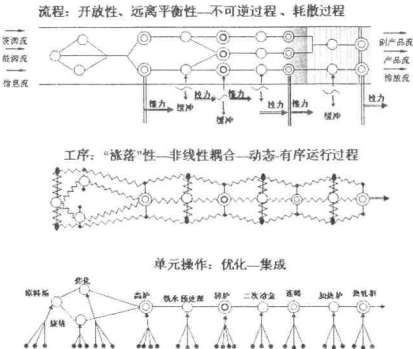


图 1 制造流程-单元工序-单元操作之间集成-解析关系

制造流程将涉及钢厂的结构与功能,并将引导钢厂发展模式的取向。新世纪内钢铁工业 (流程制造业) 的进一步发展有赖于这类大尺度-多层次问题的解决。其中既包括了工程理论问题、工程设计问题,又包括了生产技术问题、运行调控问题和环境-生态问题等

等……。

制造流程对于相应的流程制造业而言,具有根本重要性,随着时代的进步,文明的发展,应该用新的理念、新的思维来研究新一代的制造流程。

3. 流程研究既有工程问题也包括科学技术问题

表 2 钢铁生产工艺流程在科学认识上的层次性分析

科学性质分类	研究尺度	研究方法		层次	设定的系统特征	控制
		白箱	黑箱			
基础科学	原子/分子	原子/分子	系统背景	微观	孤立系统:与外界没有物质、能量交换,可逆过程—平衡状态	-/PLC
技术科学	场域/装置	场域/装置	分子/流程	中(介)观	开放系统:与外界有物质和能量交换	PLC/MIS
工程科学	流程/复杂系统	流程/工序关系	分子/场域	整体/系统	开放系统:与外界有物质和能量交换,不可逆过程—远离平衡态	MIS/CIMS

二、新一代钢铁制造流程的功能和目标

1. 钢厂制造流程功能的进展

长期以来,钢铁制造流程的功能被天经地义地确定为制造钢铁产品,其中包括了从形状上分的长材(棒材、线材、型材、丝材等)、平材(薄板、中板、厚板等)和管材(无缝管、焊管),当然其中也包括了相应的各种钢类、钢号。为了大批量、经济地制造这些钢铁产品,钢厂的制造流程不断发生演变与革新,特别是不少单元工序在工艺上、装备上革命性变革的推动下(例如氧气转炉、钢水精炼、铁水预处理、大型电炉、连续铸锭、连续轧制等先进工艺、装备的发展和贝氏麦转炉、托马斯转炉、平炉、小电炉、混铁炉、模铸、初轧机、开坯机的相继被淘汰),使得钢厂制造流程发生了巨大的变化。

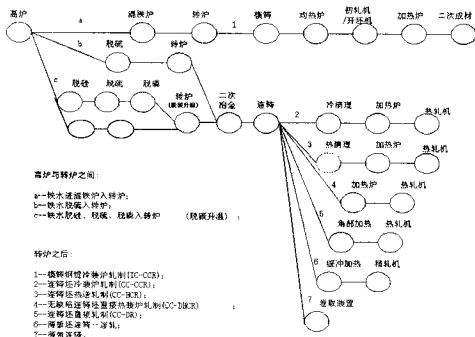


图 2 20 世纪 50 年代以来钢铁生产流程的演进

由于钢厂制造流程的结构和工艺技术特性，使钢厂具有以下特点：

- 资源密集、能耗密集：在钢铁联合企业内，每吨钢将消耗 0.6~0.8t 标煤、1.50~1.55t 铁矿石、80~150kg 废钢、3~8t 新水；由此形成了大量的物质、能量的输入与输出；
- 生产规模大、物流吞吐大：现代化钢厂的基本级别已经大致地分为年产钢 800~1000 万 t、600~800 万 t、300~400 万 t 及 100~200 万吨等级别；由此伴随着巨大的资金流；
- 制造流程工序多、结构复杂：由此可形成若干产业链关系，其中必然涉及时-空因素；
- 制造流程中伴随着大量物质和能量排放，并形成了复杂的环境界面，其中蕴含着诸多“3R”的可能性。

钢厂的上述特点，特别是物质、能量、资金、时间、空间等五因素高度集中，启发了对钢厂功能拓展的思考，结合钢铁工业环境保护、清洁生产、绿色制造的研究（图 3），我们认识到在未来的发展过程中，钢厂由于其制造流程的特点，应该具有三类功能——钢铁产品制造功能、能源转换功能和排放物、废弃物处理、再资源化功能（图 4），并通过功能的拓展融入循环经济社会中去（图 5）。

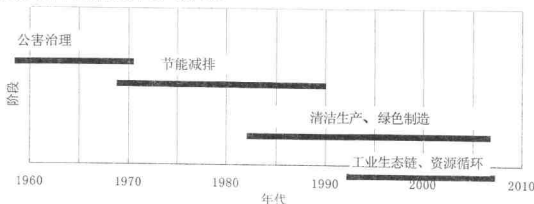


图 3 钢铁工业环境保护的发展进程示意图

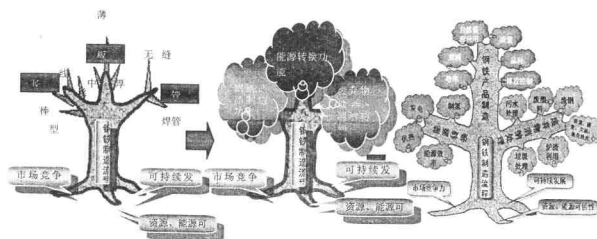


图 4 钢厂生产流程功能的演变趋向

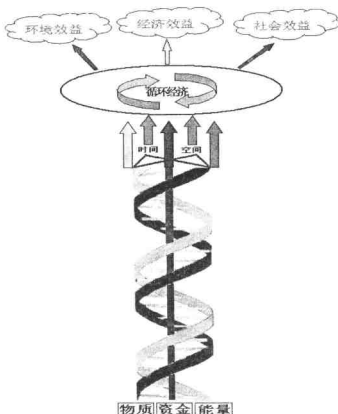


图5 从“3R”出发到“五要素”优化集成——有效地实施循环经济

2. 新一代钢铁制造流程的目标

研究新一代钢铁制造流程的目标是通过新一代流程的整体集成优化来解决流程系统的功能优化、结构优化和效率优化。进而在更大尺度上解决不同类型钢铁企业的结构-模式、市场竞争力，解决企业的经济效益、环境-生态效益和社会效益。

新一代钢铁制造流程的目标：

我国新一代钢铁制造流程研究的重点目标，是要在 21 世纪的时代背景下，自主集成生产薄板（及其深加工产品）的大型钢铁联合企业的工艺流程和装备，以支持新一代钢铁基地（例如曹妃甸钢厂等）的建设和现有钢厂的改造。在流程整体优化的基础上使我国钢铁工业再节能 15~20%，使钢的使用效率提高 5~15%，解决若干高附加值产品的自主开发和创新问题，新一代钢铁制造流程不仅具有良好的钢铁产品制造功能，而且还具有能源转换功能和废弃物处理和再资源化功能，推动钢厂融入循环经济的进程中去。

作为未来新建的钢铁基地（以 800~900 万吨/年全薄板型钢厂为例）将实现如下目标：

- 占地面积：8Km²左右；
- 高效率、低成本、大批量地生产高附加值薄板及其深加工产品；
- 能耗：620~630kgce/t；
- 新水消耗<3.5t/t 钢；
- 只买煤、基本不买电、不用燃料油；
- 钢-电-水泥联合生产；
- 大量消纳处理废塑料、废钢等社会废弃物；
- 劳动生产率：1200~1600t/人·年（如果不计协力人员，则生产在线人员的劳动生产率将达到~3000t/人·年左右）。

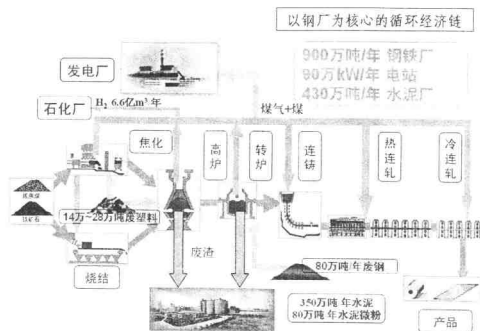


图 6 年产 900 万 t 钢铁联合企业的制造流程及其关联产品

三、新一代钢铁制造流程研究的内涵

由于钢铁制造流程是由功能各异的不同工序串联起来、集成运行的。所以新一代流程不可能也不必要对每一工序的工艺、装置全部进行替代性的更新，来重新构筑完全不同于现有制造流程的新流程。

所谓新一代钢铁制造流程应是建立在若干现有先进工艺、装备的基础上，与新开发的工艺、装备以及新开发的“界面技术”创新性集成起来，而重新构筑的工艺制造流程。其重点是：

1. 共性平台技术：例如高效率、低成本的洁净钢生产技术平台等；
2. 动态-有序运行的“界面技术”：即工序之间、车间之间衔接匹配、协同、缓冲技术等，例如高炉-转炉之间的“界面技术”，炼钢-连铸之间的“界面技术”，连铸-热轧之间的“界面技术”，热轧-冷轧之间的“界面技术”等；
3. 流程工程集成技术：例如流程网络（平面图等）的合理配置技术；若干关键装备的创新设计和制造技术；物质流-能量流-信息流动态-有序的信息调控技术等。
4. 系统、高效的能源转换技术：例如 CDQ、TRT、CCPP 等发电技术，能源梯级利用技术，甚至包括万吨级制氢技术等。
5. 废弃物资源化利用技术：包括废钢、废塑料、废轮胎等废弃物的消纳、处理等；
6. 产业链接技术：包括钢厂-水泥厂-发电厂-石化厂-化工厂-造船-集装箱制造-物流业等循环经济示范区的建设；
7. 流程物理模型和虚拟现实技术：包括钢厂流程动态-有序运行的物理本质研究以及建立在动态优化模型、信息技术和可视化技术等基础上的虚拟现实等。

总之，新一代钢铁制造流程的研究开发，要体现自主创新的精神，要体现钢厂功能的拓展，实现钢铁产品制造功能、能源转换功能和排放物、社会废弃物消纳—处理、再资源化功能。

中国钢铁工业展望

李世俊

(中国钢铁工业协会)

